

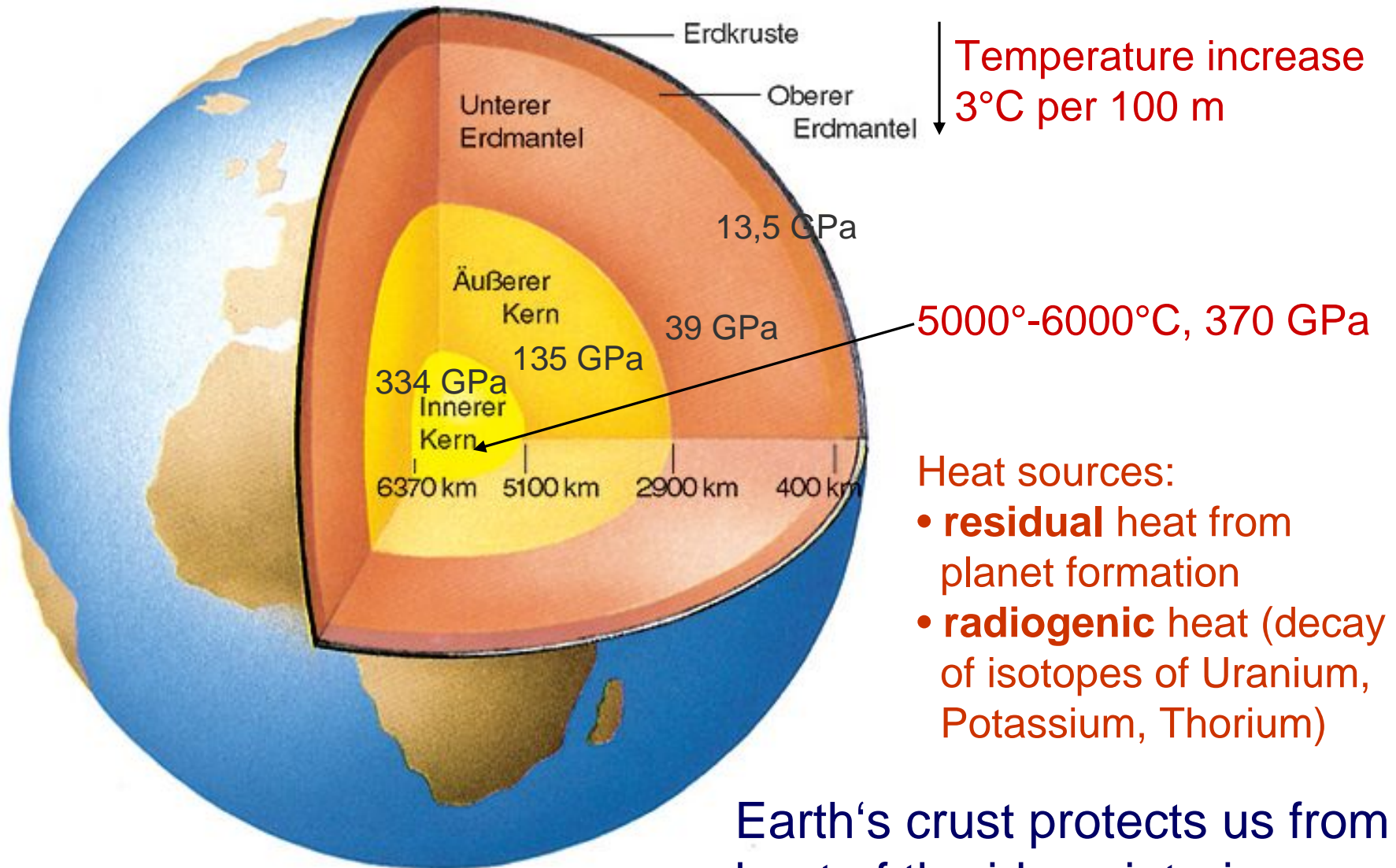


Geothermie für Grundlaststrom und Wärmeversorgung
internationale Nutzung, Potential
technologische Entwicklungen

David Bruhn & Ernst Huenges
Internationales Geothermiezentrum

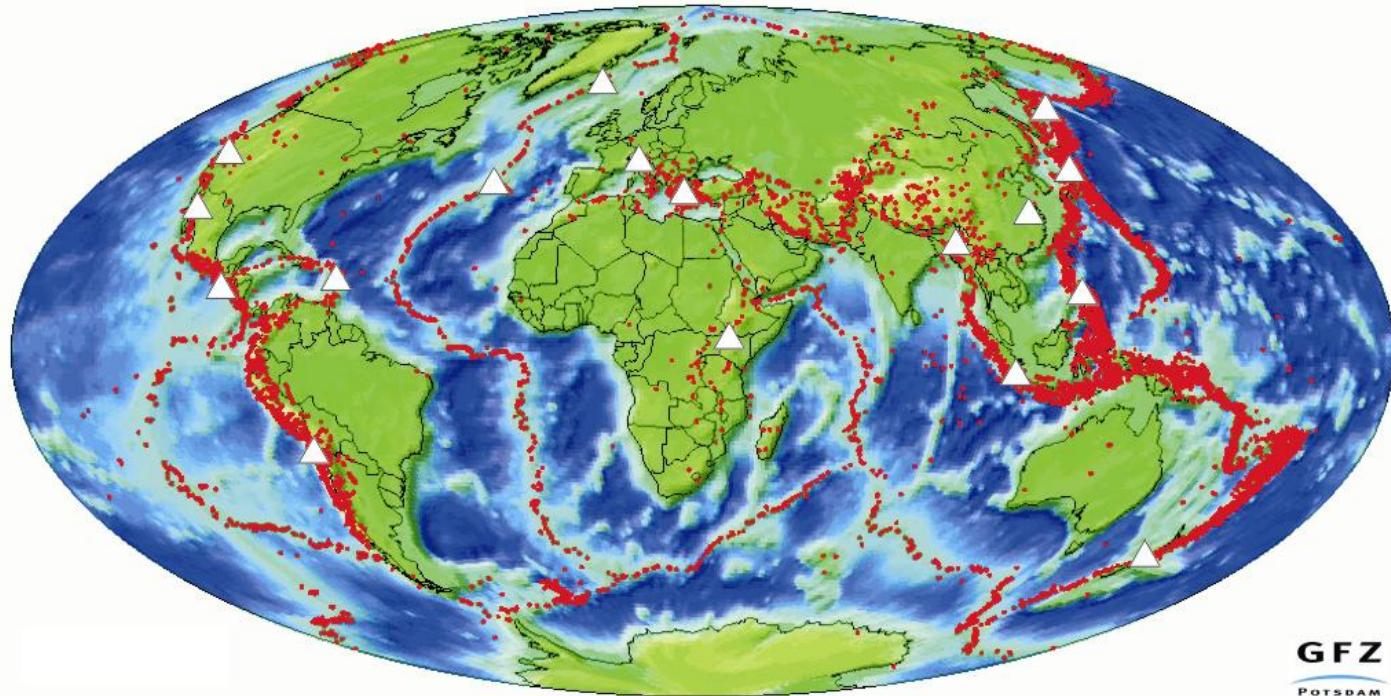
Deutsches GeoForschungsZentrum Potsdam

Earth – an enormous heat source



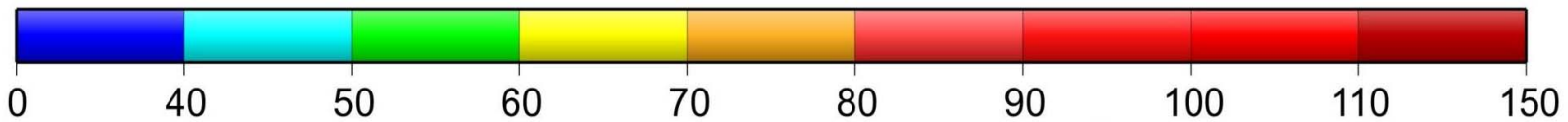
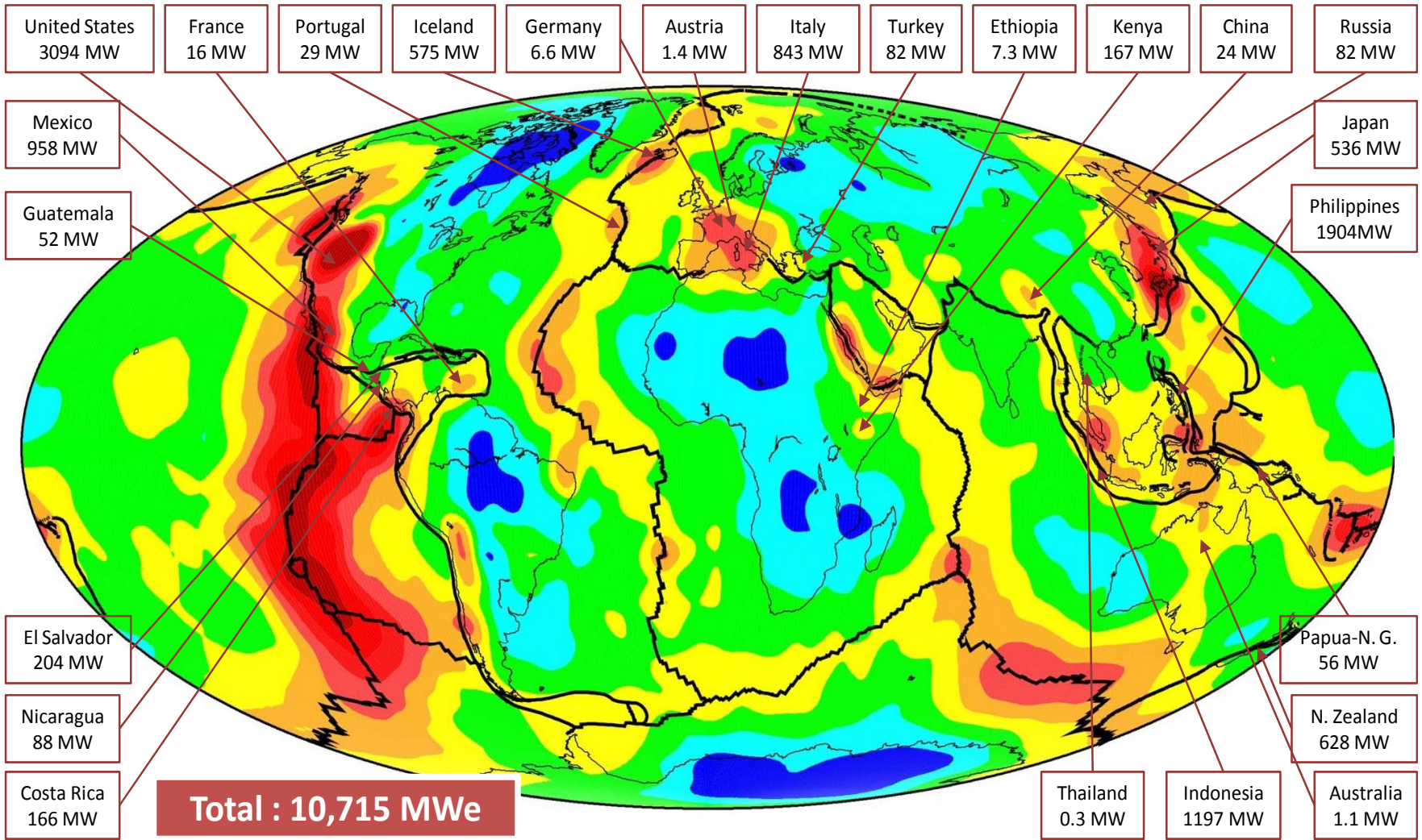
Locations for conventional geothermal power

The ring of fire – areas of geological plate boundaries, increased volcanic and earthquake activity



*Geothermal Power stations
(white triangles)*

*Locations of intense
seismic activity (red)*



Heat Flow Density [mW/m²]

IPCC 2010

Nutzung der Geothermie (2010)



Elektrizität:

- Installierte Leistung: 11 GWe
- Produktion: 80 TWh
- 24 Länder; 5 erzeugen 15-22% des Landesbedarfs an elektr. Strom aus Geothermie (Costa Rica, El Salvador, Island, Kenia, Philippinen).
- F&E zur Nutzung von 87- 150°C Wasser zur elektr. Stromgewinnung (0.3-10 MWe) – USA, Österreich, Deutschland, Island

Direkte Nutzung:

- Installierte Leistung: 60 GW,
Produktion: 496,000 TJ/2010
- ~ 50% zum Heizen (Erdwärmepumpen) in 72 Ländern
- 2010: Jährliche Zuwachsrate = 7% direkt Nutzung
und 22 % für Wärmepumpen

IPCC 2011

Status 2011

Weltweit sind mehr als 9000 MWe neuer Kraftwerke in Planung bzw. im Bau, was fast einer Verdopplung der gegenwärtigen – über die letzten 50 Jahre errichteten – Leistung (11,000 MW) entspricht.

Diese Entwicklung beschränkt sich fast ausschließlich auf „konventionelle“ Hochtemperatur-Anlagen

Jigokudani hotspring, Nagano Japan

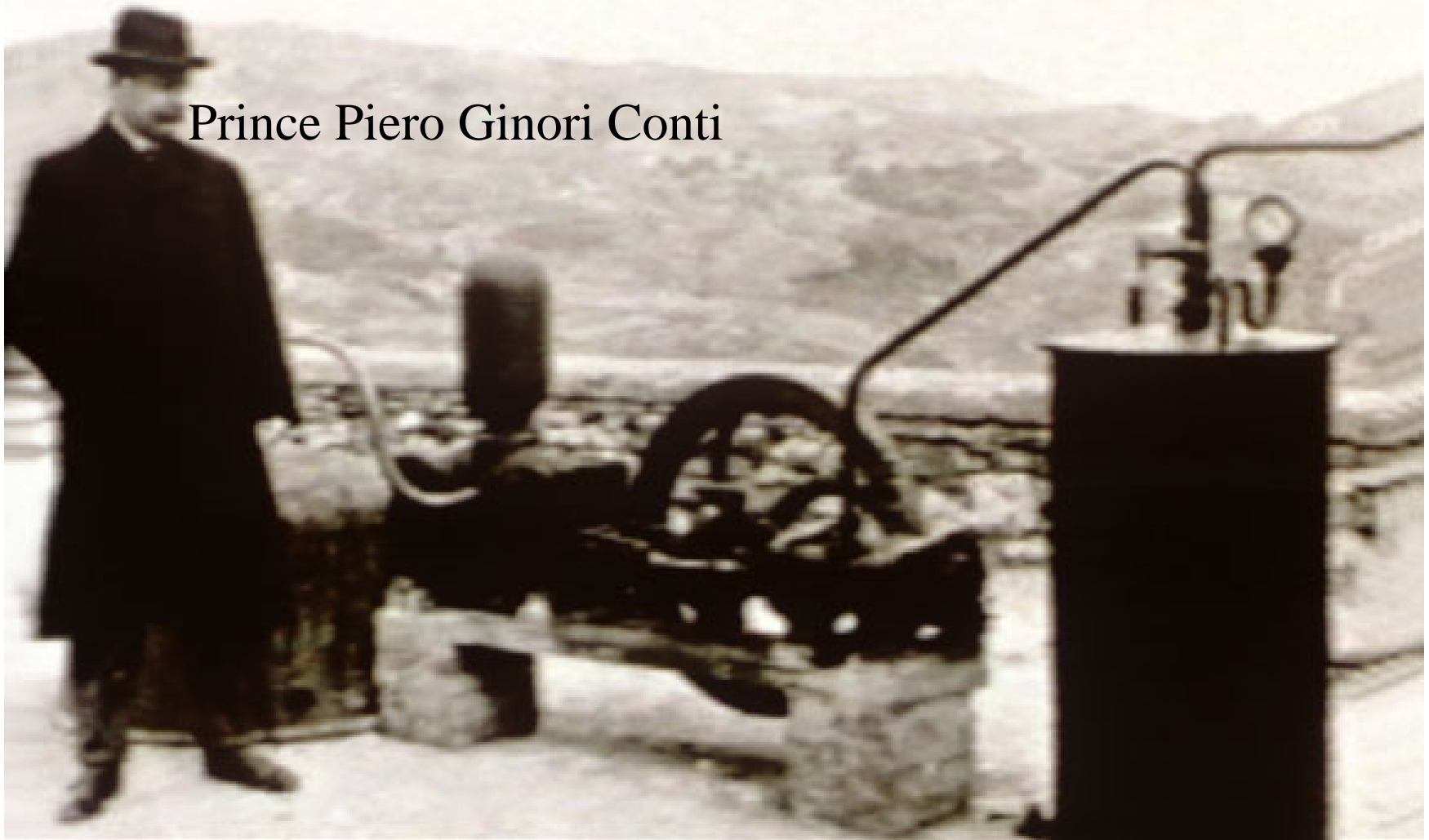


„Sollten einst auf der mehr oder weniger bevölkerten Erde die Wälder so stark gelichtet und die Kohlenlager erschöpft sein, so ist es wohl denkbar, dass man die Innenwärme der Erde sich mehr und mehr dienstbar macht, dass man sie durch besondere Vorrichtungen in Schächten oder Bohrlöchern zur Oberfläche leitet und zur Erwärmung der Wohnungen oder selbst zur Heizung von Maschinen verwendet.“

(Carl Bernhard von Cotta, 1858)



Larderello: Elektrischer Strom aus Geothermie

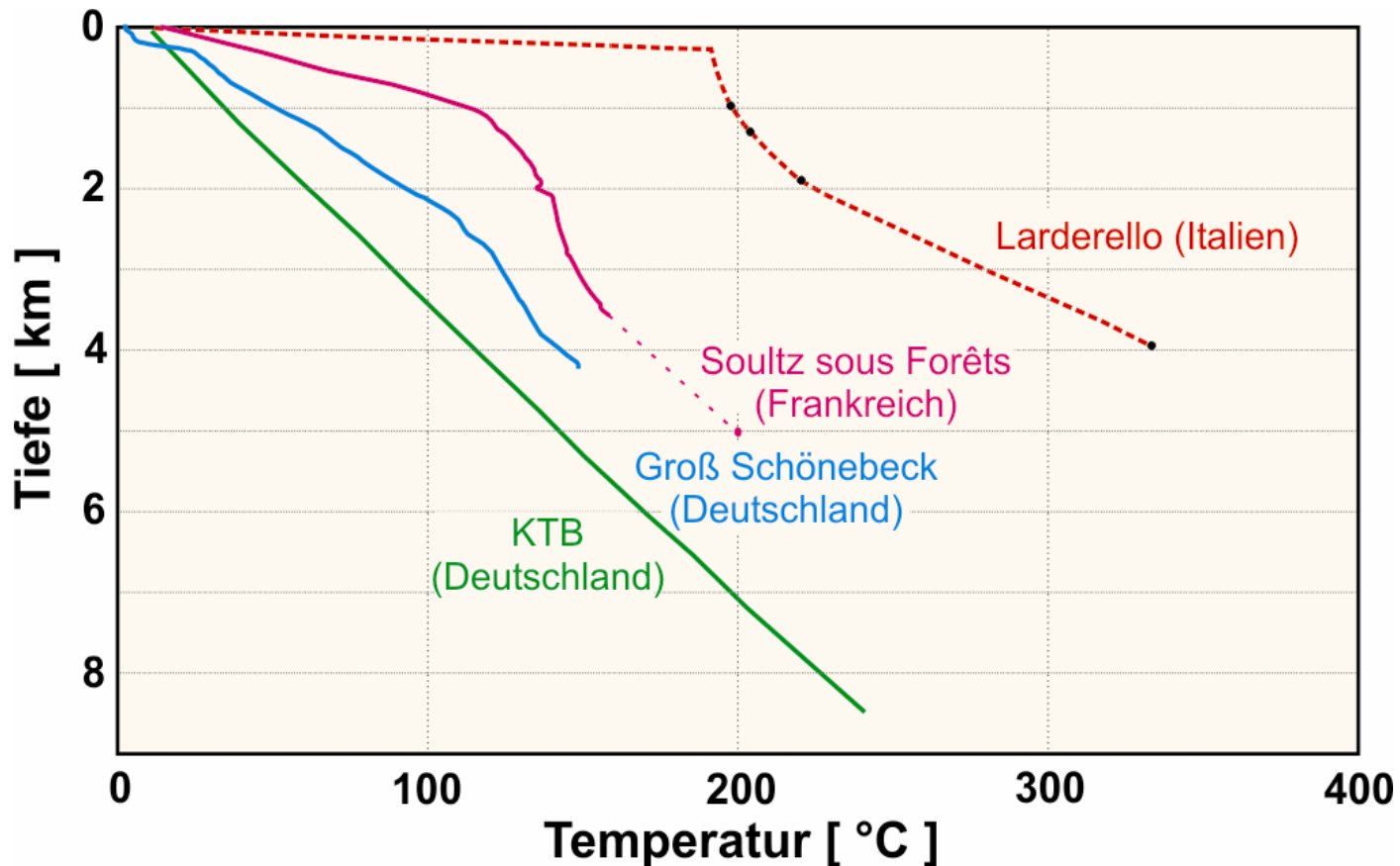


Prince Piero Ginori Conti

First Geothermal Power Plant, 1904, Larderello, Italy

Temperaturgradienten in der oberen Erdkruste

Regional temperature variations



Conventional / unconventional

Conventional: Hydrothermal systems

- Dry steam, 200 -350°C Dampf treibt Turbine
- Flash steam, >180°C Wasser wird verdampft -> treibt Turbine

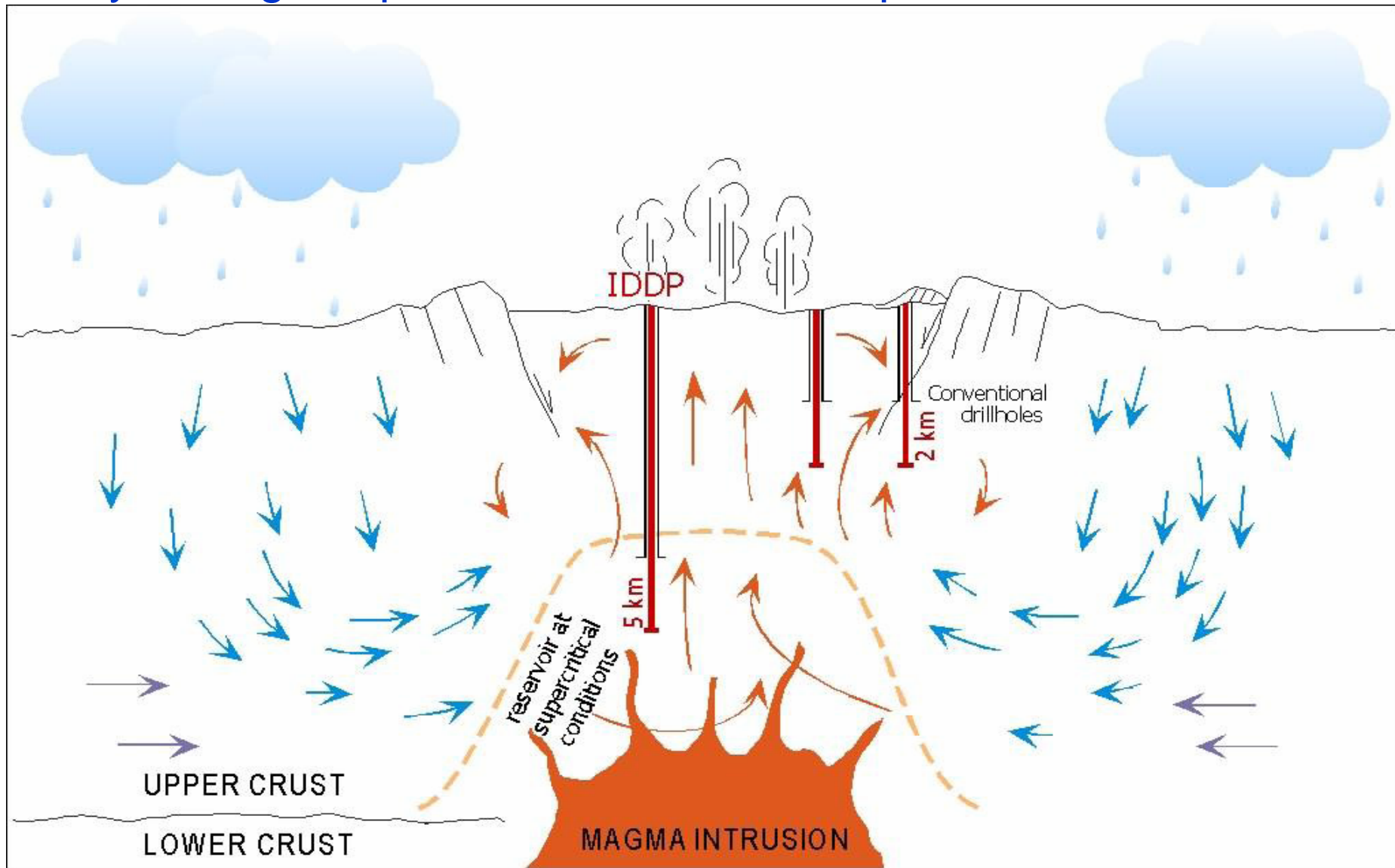
Unconventional: UGS = unconventional geothermal systems

- High enthalpy supercritical -> IDDP
- medium enthalpy binary systems
- low permeability enhanced geothermal systems (EGS)

	conventional	IDDP
Dry steam	235°C	430°- 550°C
Downhole pressure	0,67 m ³ /h	0,67 m ³ /h
Volumetric rate of inflow	30 bar	230 – 260 bar
Power output	5 MW _e	50 MW _e

After Fridleifsson et al. (WGC 2010)

By drilling deeper we should reach supercritical conditions



WGC-2010-GÓF et al. paper 3902



The first IDDP Drill Hole was drilled and completed in 2009

Krafla power plant

Temperature: 200-340°C

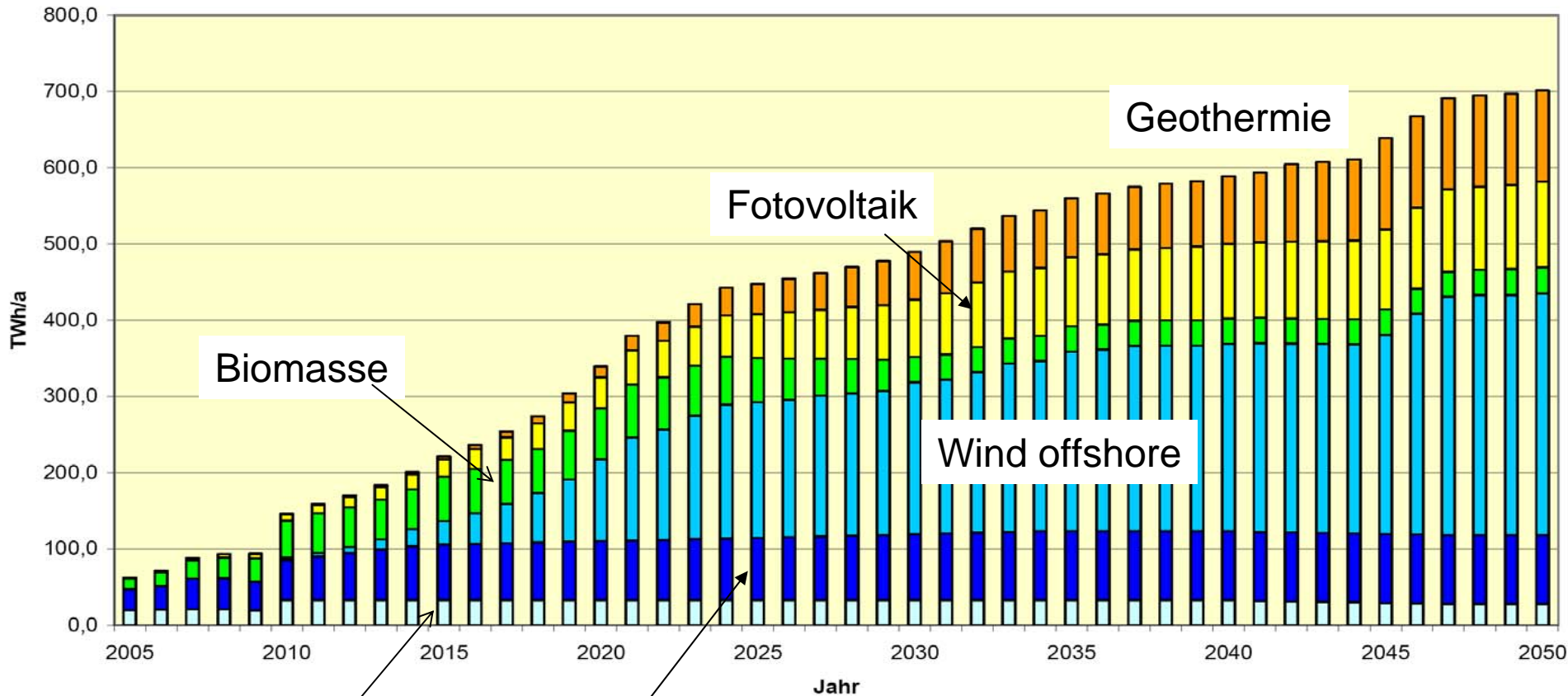
Production : 60 MW_e (built 1975)

Production wells: 40 (about 1/3 of them connected)

WGC-2010-GÓF et al. paper 3902

Strom-Produktion* aus Erneuerbaren Energien 2050 (SRU-Szenario 2.1.b)

*brutto



Quelle: SRU 2010

Entwicklung geothermischer Technologien

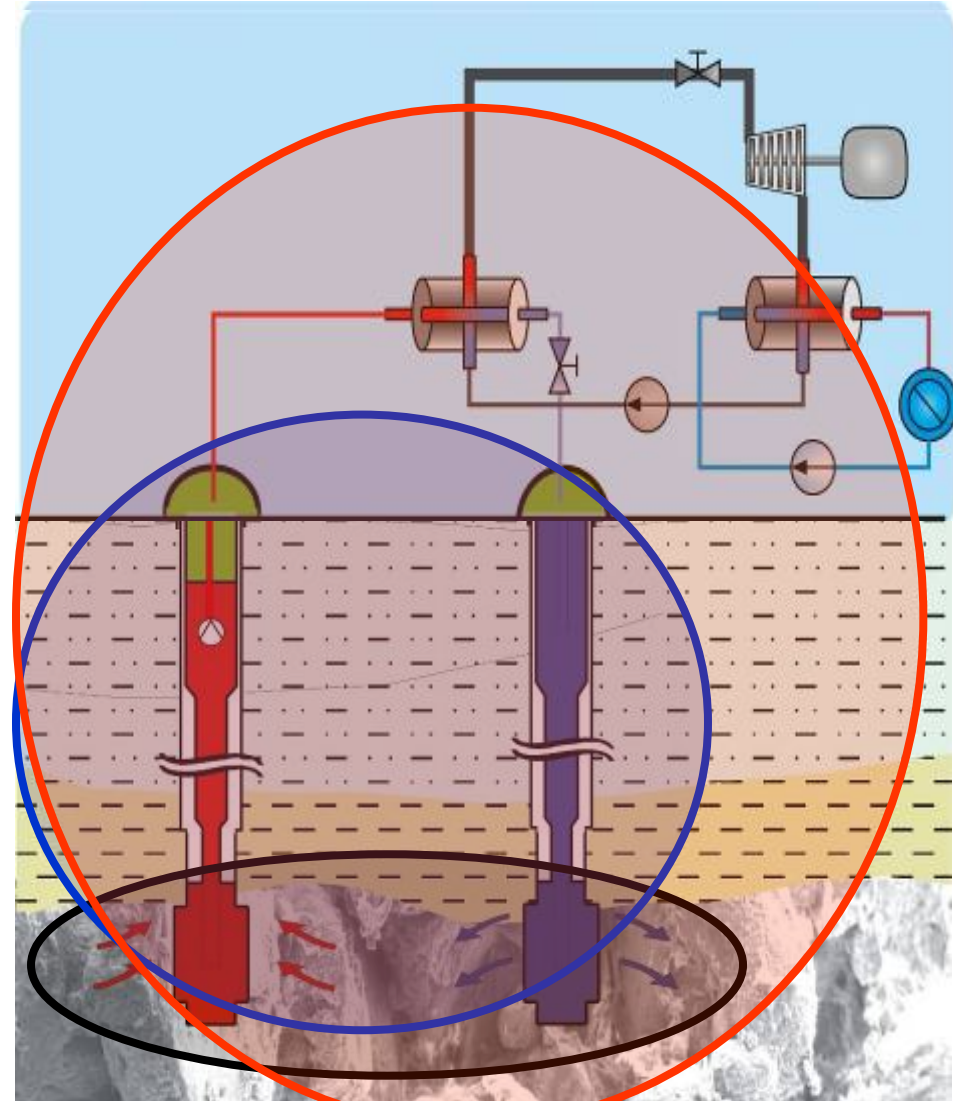
Wärmebereitstellung durch direkte Nutzung geothermischer Lagerstätten

Prinzip

- Thermalwasserkreis
~ 100 - 200 °C, ~ 2 - 5 km tief
- Nutzung
Organic Rankine oder Kalina Cycle

Herausforderung:

- **das Reservoir finden**
- erschließen und stimulieren
- die Wärme effizient fördern und wandeln

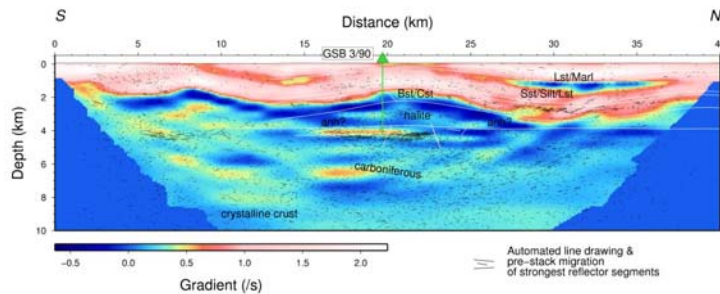


Exploration

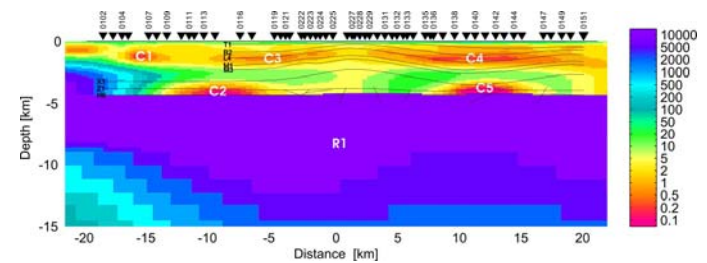
Understanding the geological system

Non-conventional Geophysics

Seismics

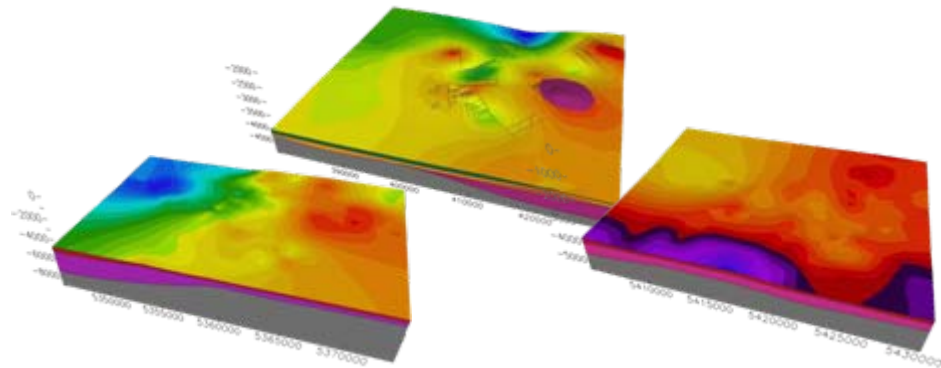
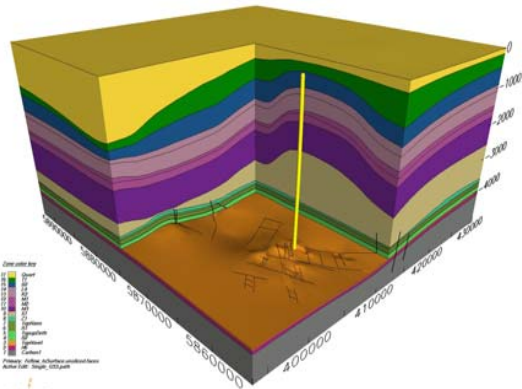


Magnetotellurics (MT)

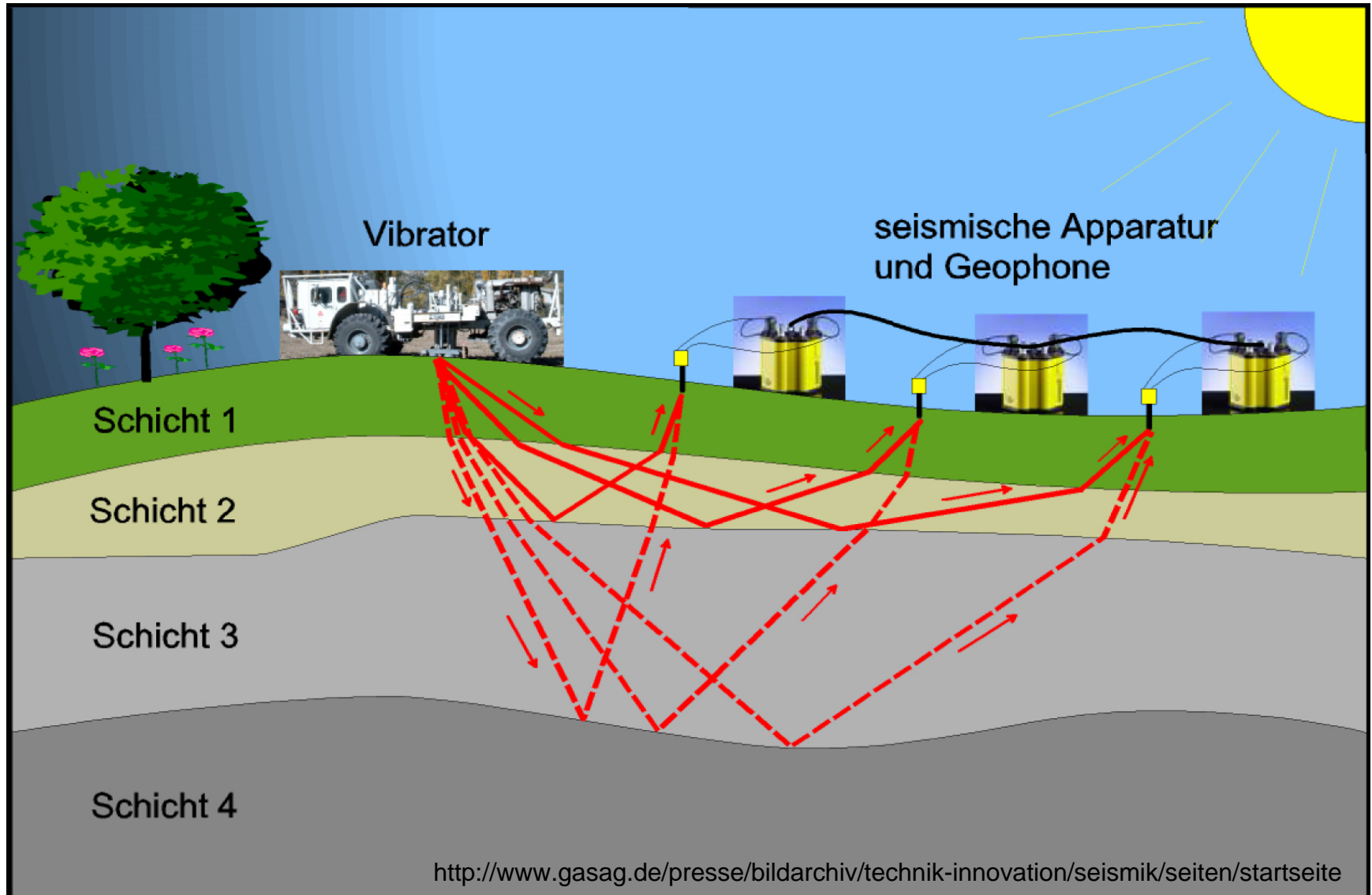


Exploration Geology

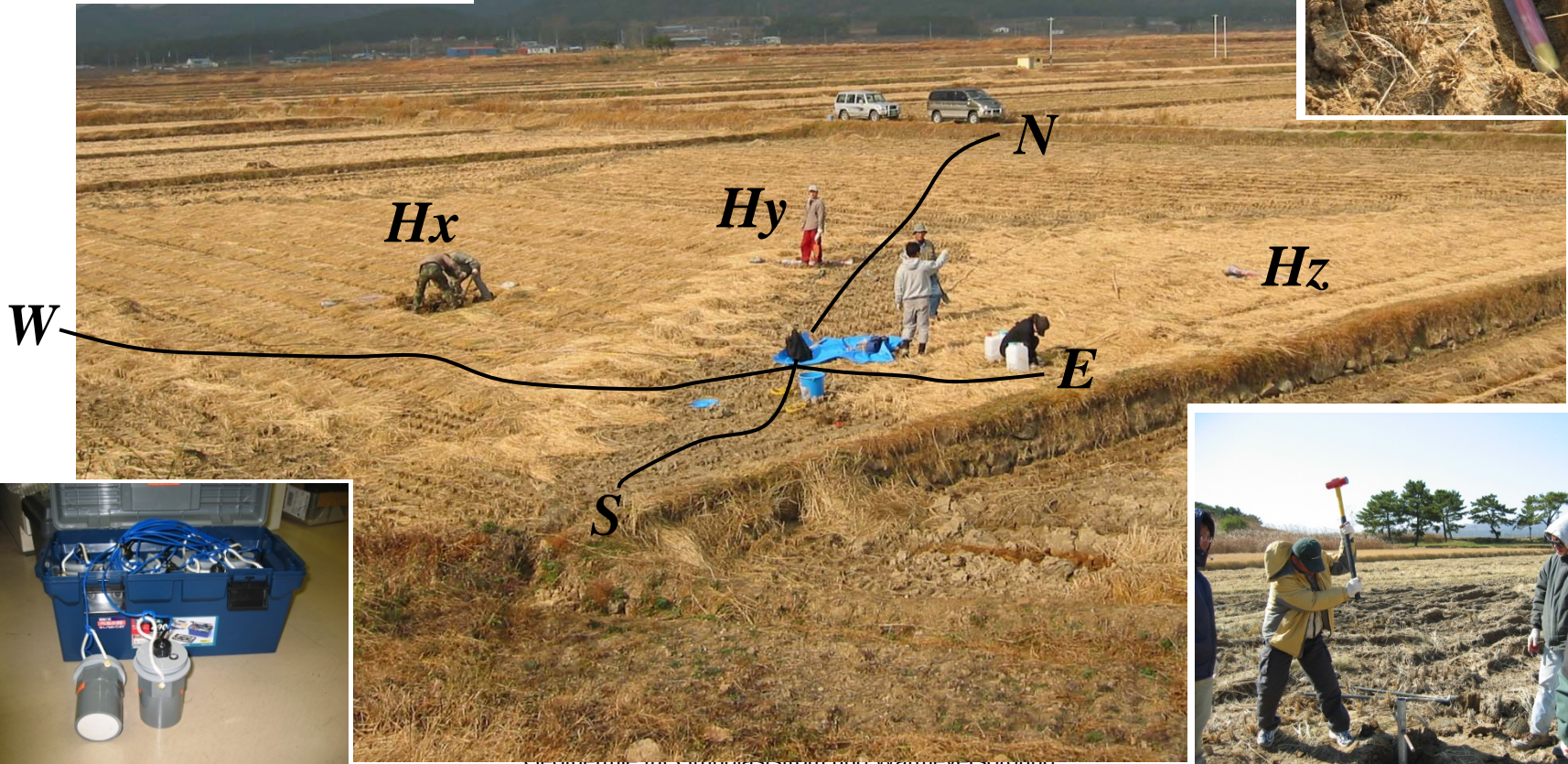
3D structural modelling, thermal modelling



Exploration: Seismische Erkundung

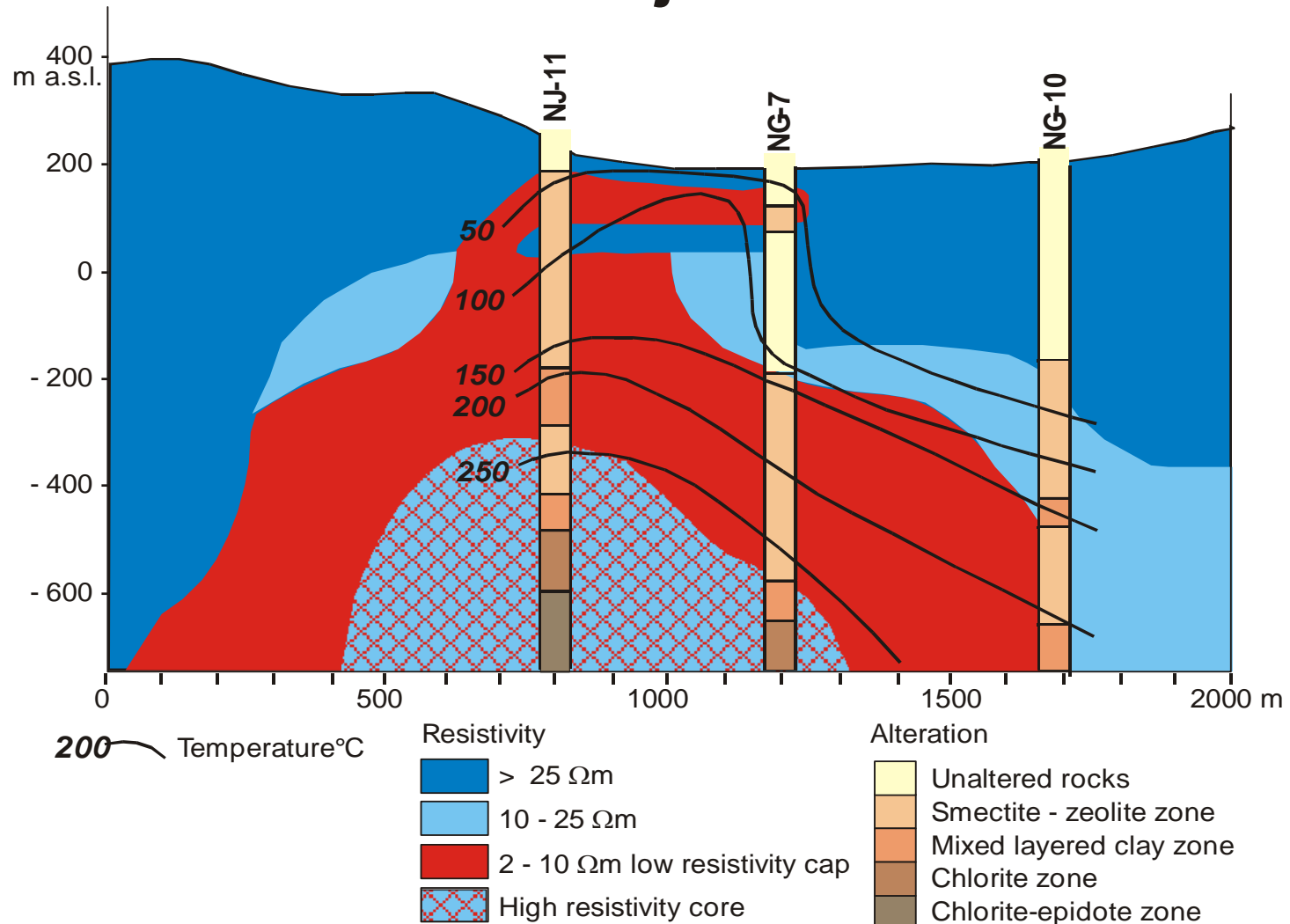


MT Method



General resistivity structure

Nesjavellir

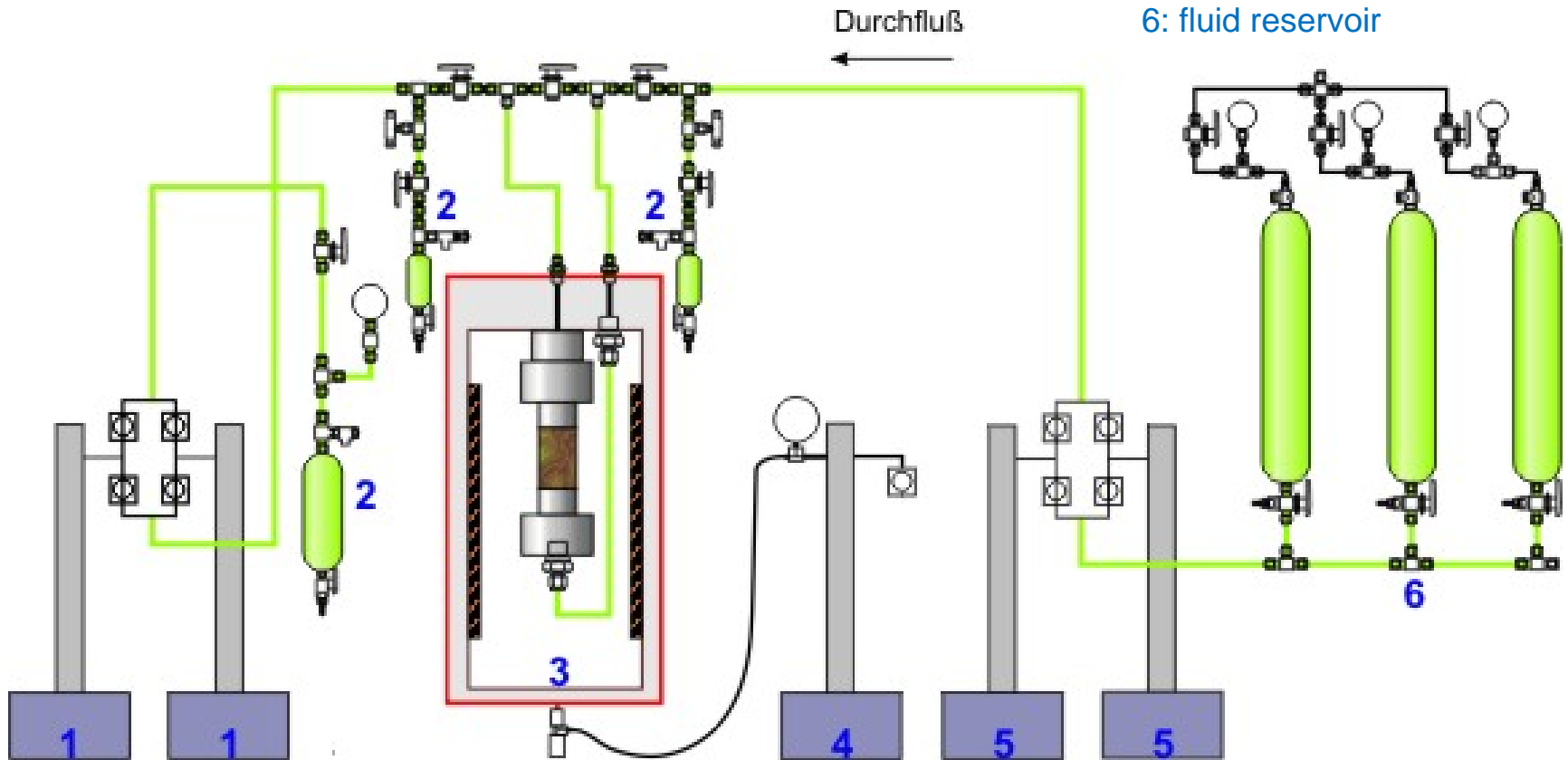


Charakterisierung von Reservoirprozessen

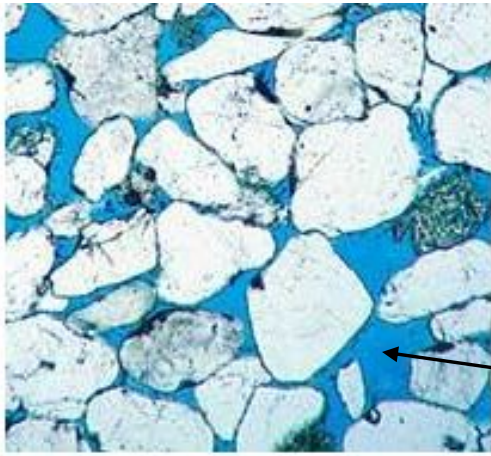
Petrophysikalische Experimente

Simulation Fluid-Gestein- wechselwirkung
bei Reservoir Bedingungen (p , T)

- 1 + 5: pore fluid pump
- 2: vessel for fluid analytic
- 3: pressure chamber with sample
- 4: pressure pump
- 6: fluid reservoir



High porosity reservoir rock



Sandstone

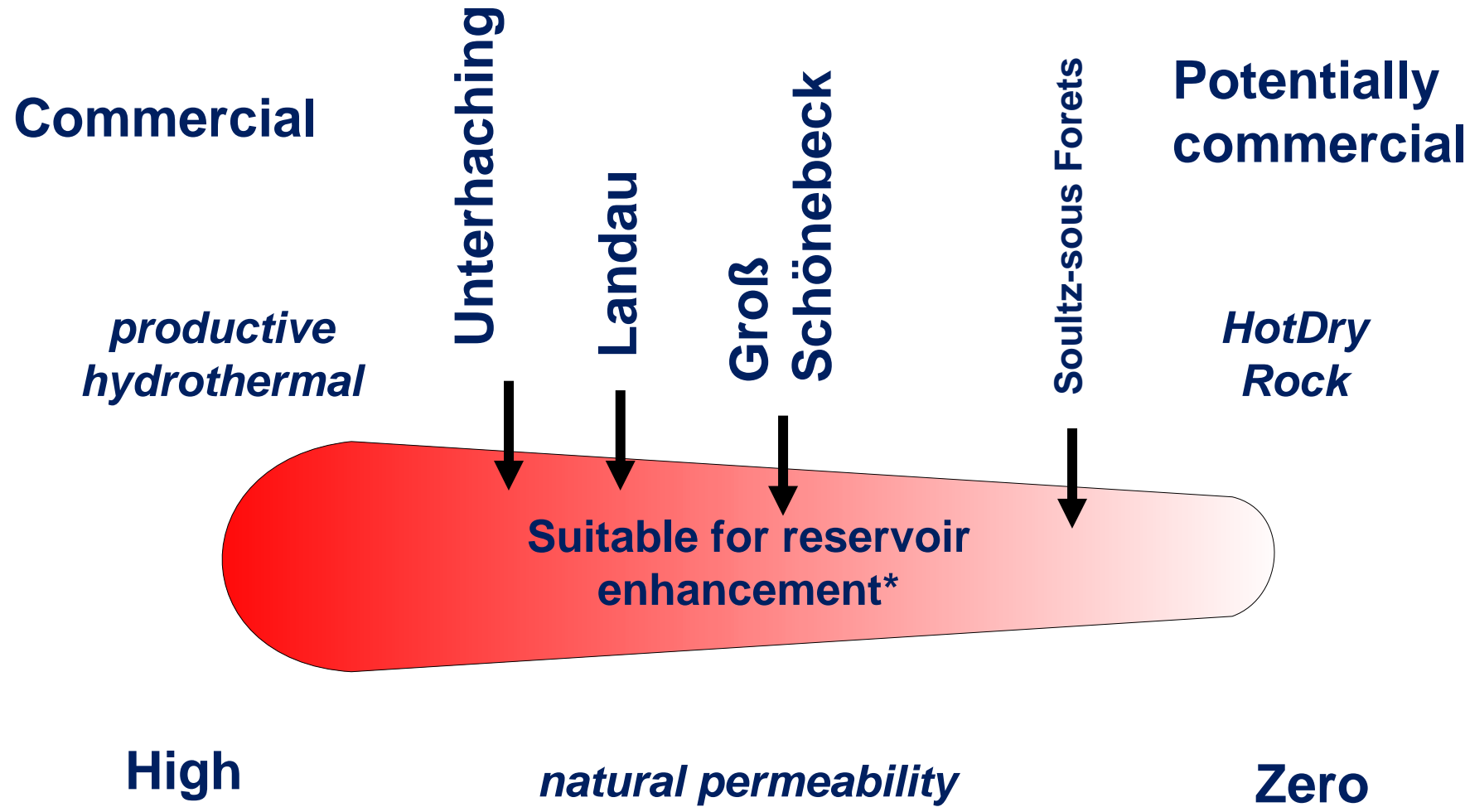
- Total porosity high (< 45%)
- pores well connected
- Effective pore space (< 30%)

Water saturated pore space



Well sorted,
medium grained with
approx. 15% effective
pore space and high
permeability
(~ 10 mD)

Reservoir technologies – Enhanced Geothermal Systems



mod. from USGS

*Mechanical, chemical, or thermal stimulation, directional drilling etc.

Entwicklung geothermischer Technologien

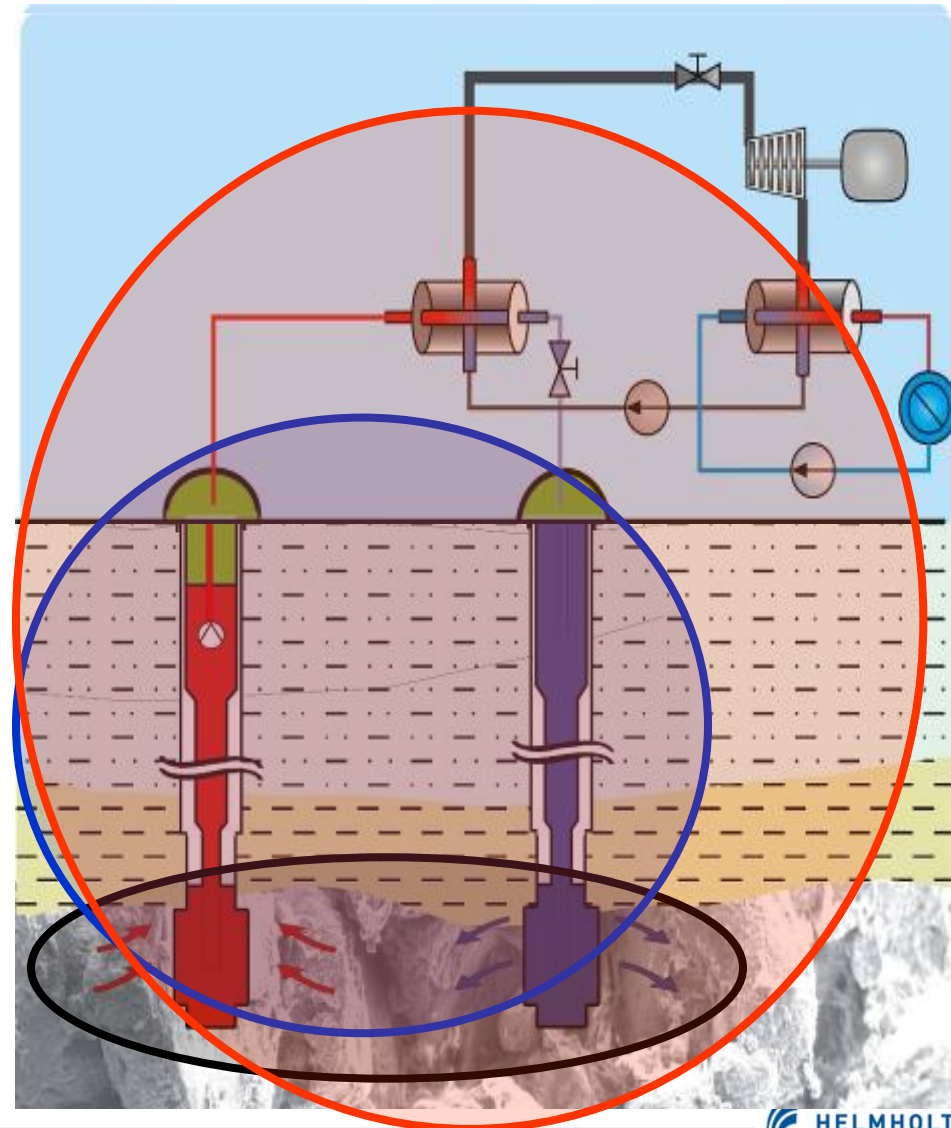
Wärmebereitstellung durch direkte Nutzung geothermischer Lagerstätten

Prinzip

- Thermalwasserkreis
~ 100 - 200 °C, ~ 2 - 5 km tief
- Nutzung
Organic Rankine oder Kalina Cycle

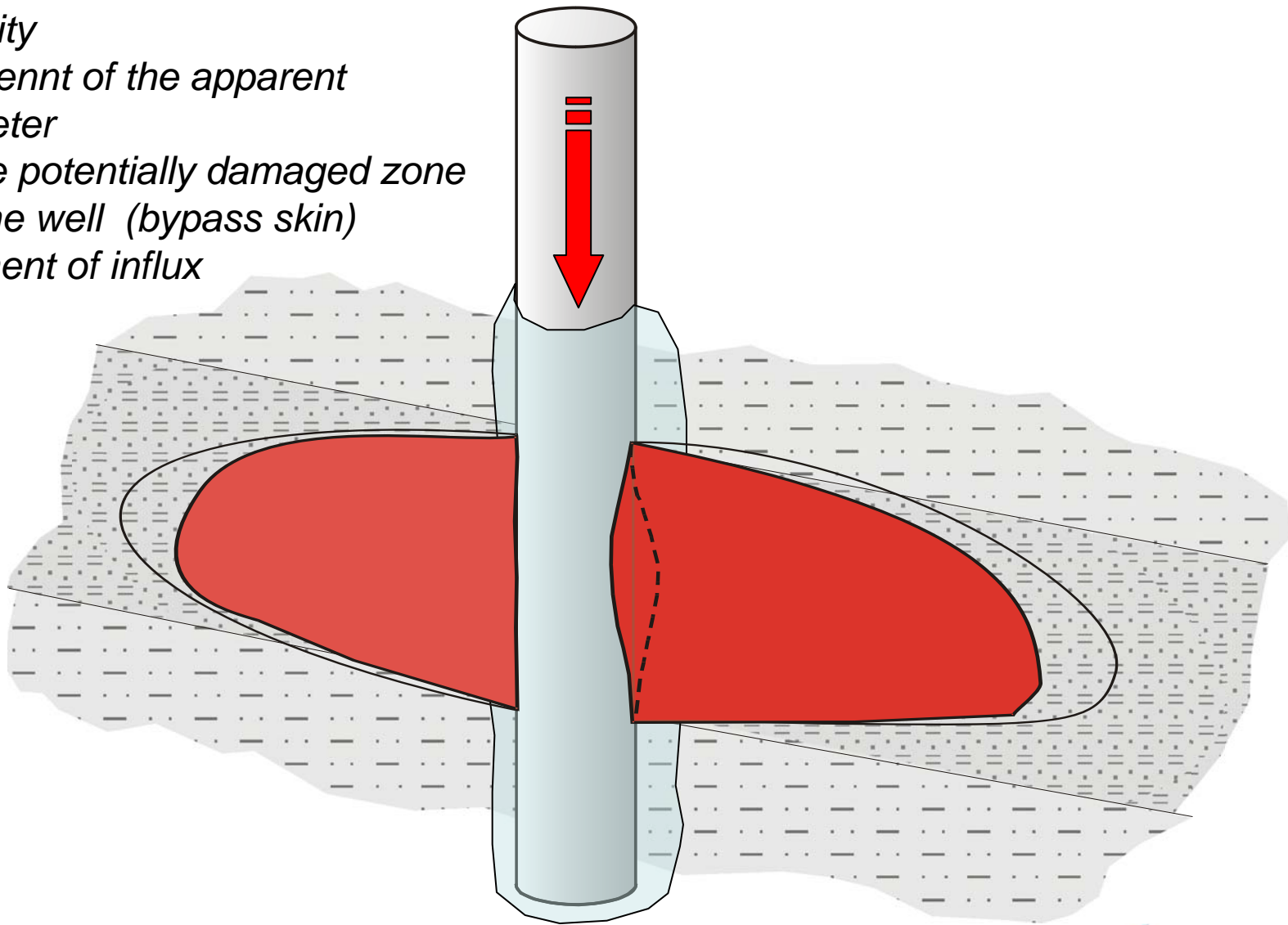
Herausforderung:

- das Reservoir finden
- **erschließen und stimulieren**
- **die Wärme effizient fördern und wandeln**



Improvement of productivity by hydraulic fracturing

- *Creation of a zone of increased permeability*
- *Enlargement of the apparent well diameter*
- *Overcome potentially damaged zone close to the well (bypass skin)*
- *Improvement of influx*

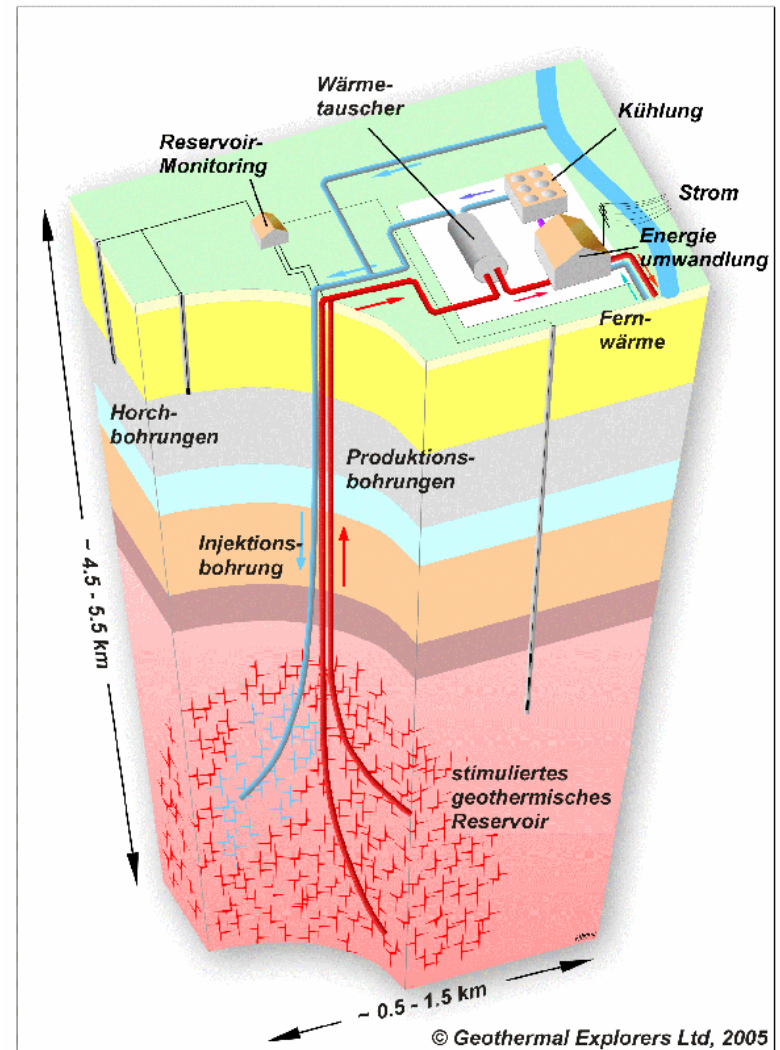


Petrothermal Systems

Hot-Dry/Wet-Rock-System (HDR/HWR)

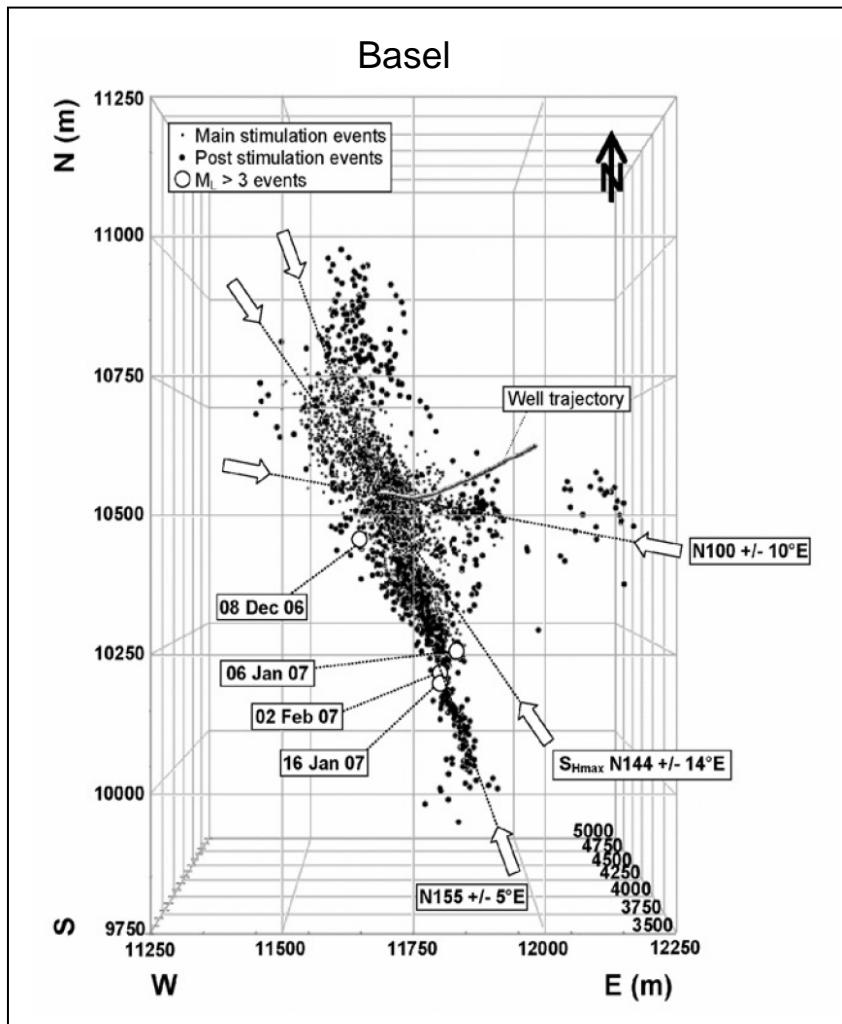
- Deep Heat Mining (DHM)
- Hot Fractured Rock (HFR)
- Stimulated Geothermal System (SGS)

Enhanced Geothermal Systems (EGS)

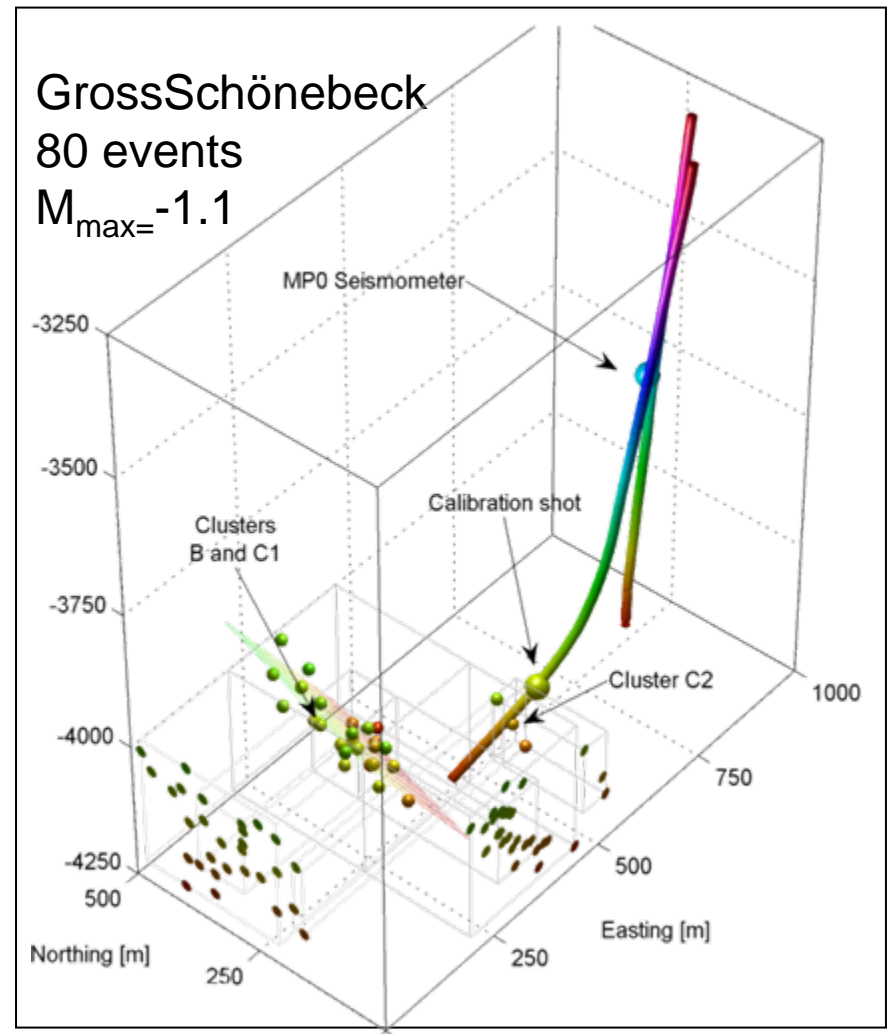


<http://www.seismo.ethz.ch/>

Induzierte Seismizität: Nützlich zur Reservoir Charakterisierung



Häring et al. (2008)



Kwiatek et al. (2010)

Prinzip tiefer Erdwärmennutzung

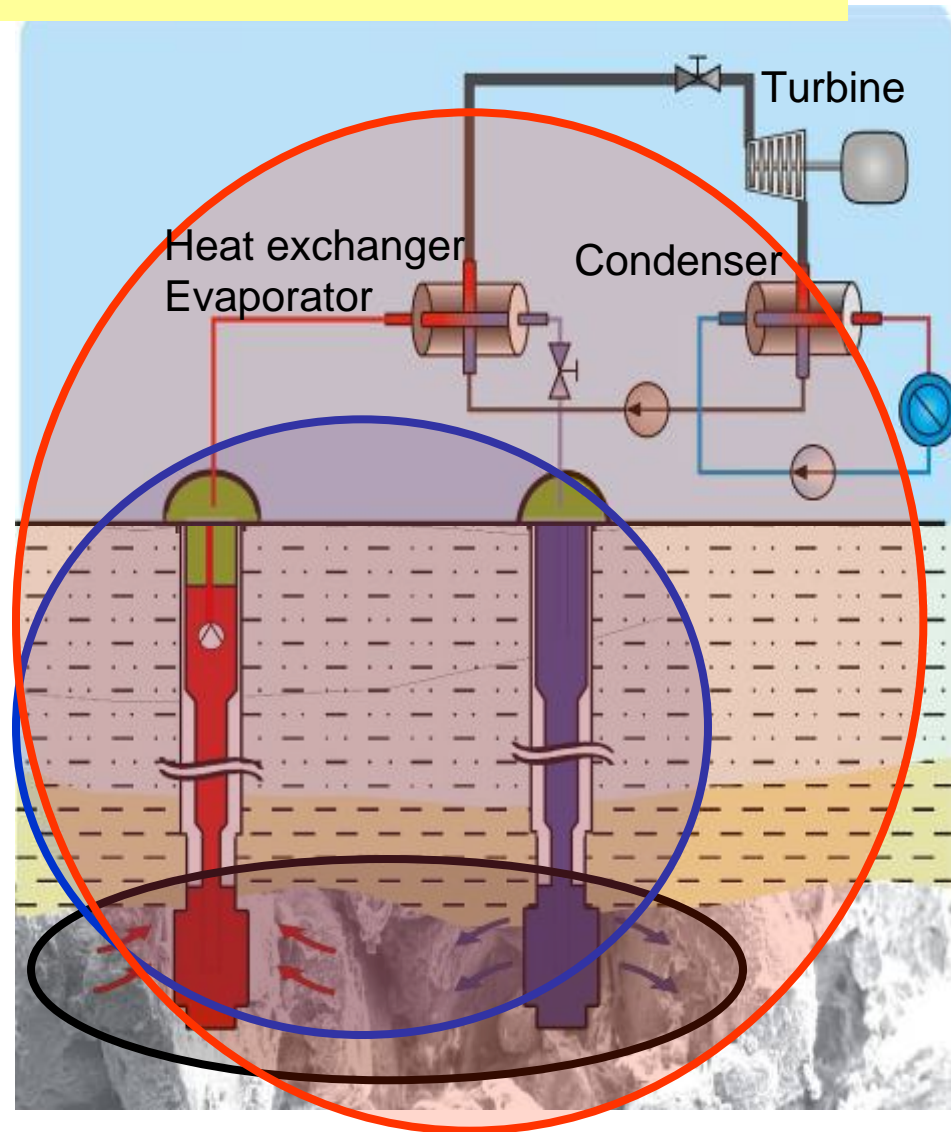
Direkte Nutzung von Geothermie für Wärme/Kälte und Elektrizität

Grundprinzip

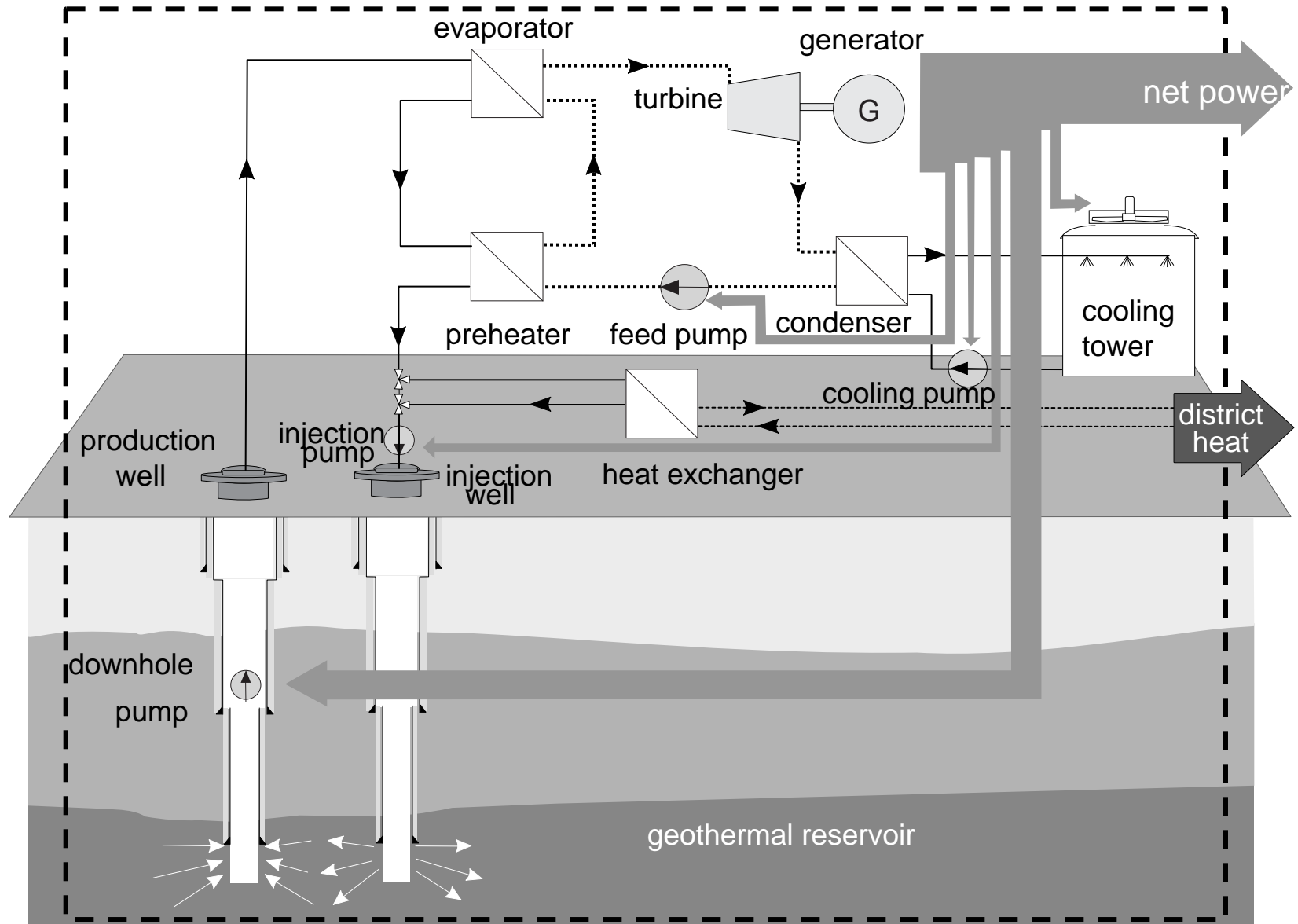
- Thermalwasserkreislauf
~ 100 - 200 °C,
Tiefe : ~ 2 - 5 km
- Binär-Kreislauf
Organic Rankine oder Kalina Cycle

Herausforderungen:

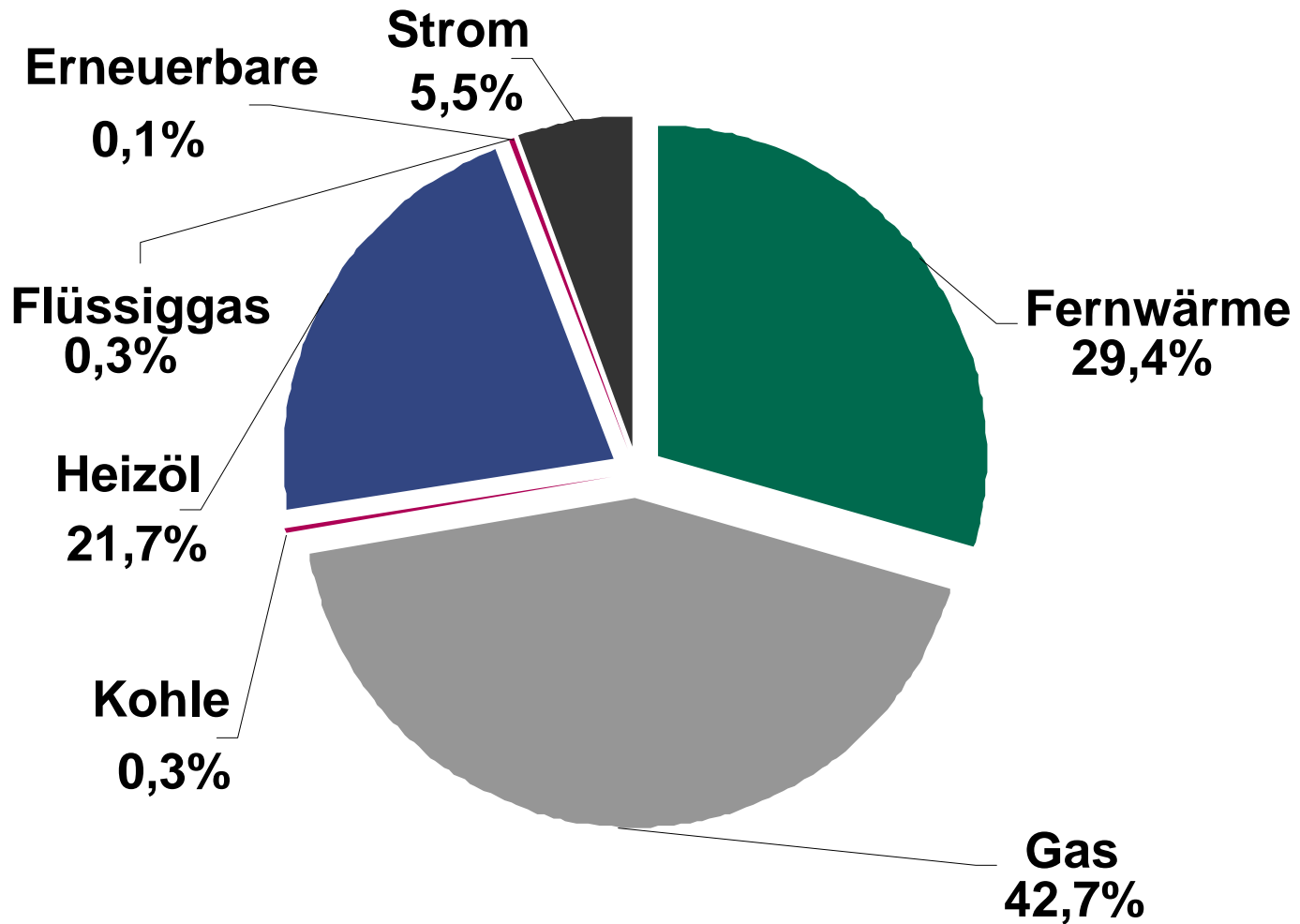
- Wo ist das Reservoir?
- Erschließung / Stimulation
=> Enhanced Geothermal System
- Effiziente Nutzung und
Wandlung der Wärme



Effiziente Nutzung und Wandlung der Wärme

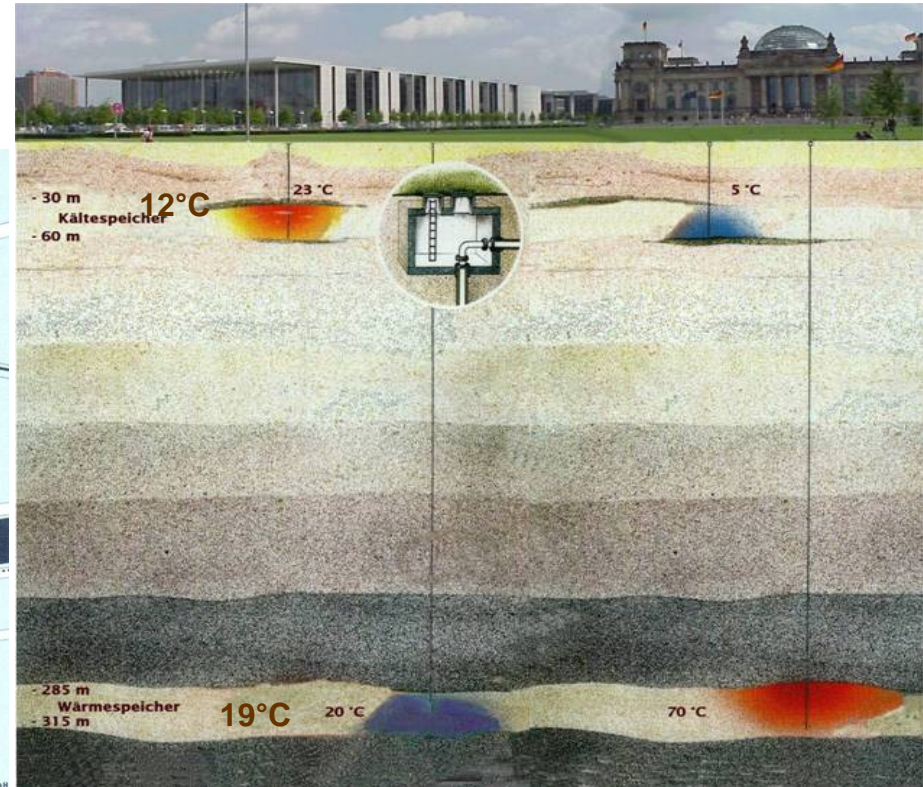
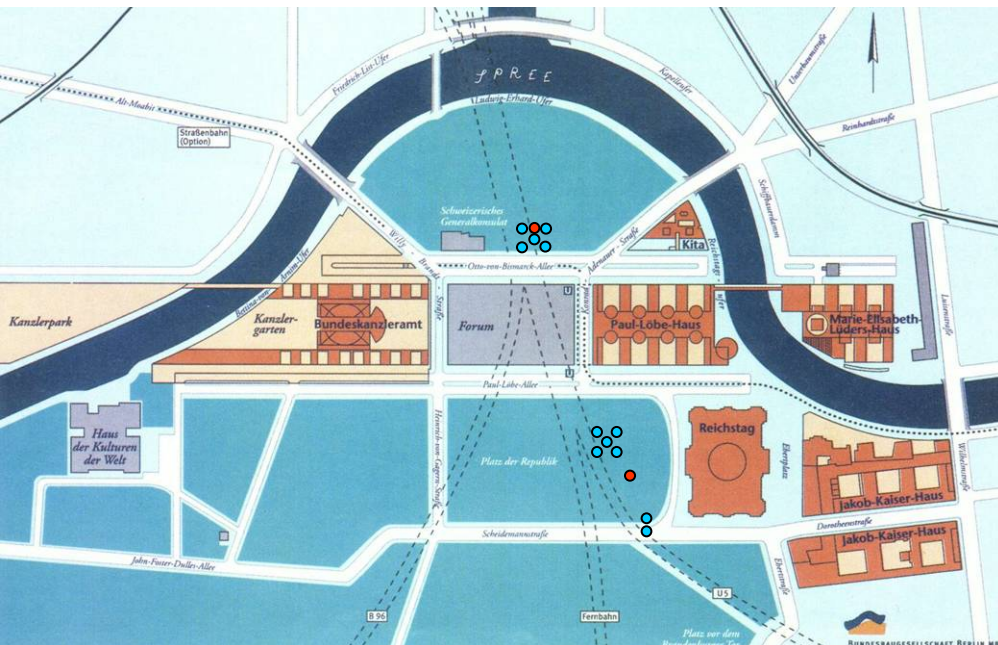


Wärmemarktanteile der Energieträger in Berlin in 2009 (37 TWh)



Thermische Untergrundspeicher in Energiesystemen (Parlamentsbauten)

Optimierung der Einbindung der Aquiferspeicher in die Wärme- und Kälteversorgung der Parlamentsbauten im Berliner Spreebogen



Nutzung geothermischer Energie

Chancen

- sehr großes noch unerschlossenes Potenzial für nachhaltige Energieversorgung
- dezentral einsetzbarer, grundlastfähiger, heimischer Energieträger
- CO₂-arme Bereitstellung von Wärme und Strom
- kombinierbar mit anderen grundlastfähigen und nicht grundlastfähigen Energieträgern (Biomasse, Braunkohle, Solarthermie, Windenergie) oder mit CCS

Risiken

- hohe Anfangsinvestitionen - Bohrungskosten
- Fündigkeitsrisiko
- Induzierte Seismizität, Radioaktivität
- Verlässlichkeit geothermischer Systemkomponenten

→ **Lernkurve der tiefen Geothermie in der Startphase**



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

© Foto: gregor.com